Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. mult. Olgierd C. Zienkiewicz, Swansea/Großbritannien

Stein, Erwin

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1987 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.225-245

Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. mult. Olgierd C. Zienkiewicz, Swansea/Großbritannien

Von **Erwin Stein**

Herr Präsident,
sehr geehrte Festversammlung,
hochverehrter, lieber Herr Kollege Zienkiewicz,
verehrte Frau Zienkiewicz,

die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft – die BWG – hat Ihnen, verehrter Herr Professor Zienkiewicz, ihre höchste Auszeichnung, die Gauß-Medaille, angetragen, und Sie erweisen durch die Bereitschaft zur Annahme unserer Gesellschaft, die sich insbesondere um das Verhältnis der Naturwissenschaften zu den Ingenieurwissenschaften und beider Beziehungen zu den Geisteswissenschaften bemüht, eine große Ehre.

Es ist für uns eine große Freude und besondere Ehre, daß Sie, verehrte Frau Zienkiewicz, mit nach Braunschweig gereist sind, um an der Ehrung teilzunehmen.

Der Antrag zur Verleihung kommt aus der Klasse der Bauwissenschaften. Damit wird deutlich, daß wir in dem zu ehrenden Wissenschaftler neben oder sogar trotz seinen hervorragenden Leistungen auf dem Gebiet der numerischen Mechanik, treffender „computational mechanics", vor allem den Ingenieur, noch deutlicher den Bauingenieur sehen, der im Jahre 1943 am Imperial College in Londen den Bachelor of Science in Civil Engineering mit einer „first class honour" erwarb und für seine berufliche Laufbahn als Ingenieur nach meinem Eindruck eine Symbiose von „Theoria cum Praxi" anstrebte und in hervorragender Weise verwirklichte.

Er war in der Tat nach dem philosophischen Doktorexamen unter Southwell, Pippard und Bickley im Jahre 1945 vier Jahre lang als Bauingenieur mit Staudammprojekten, vor allem in Schottland, beschäftigt, ehe es ihn wieder zu Lehre und Forschung an die Universität zurückzog.

Ihr wissenschaftliches Werk, Ihre weltweite Anerkennung ist verbunden mit der Entwicklung der Finite-Element-Methode in der Struktur- und Strömungsmechanik, die Sie von 1961 an bis heute als Professor und Head of Department of Civil Engineering der University of Swansea mit einer Gruppe von stets hervorragenden Mitarbeitern, Stipendiaten und Gastwissenschaftlern aus der ganzen Welt nach Breite und Tiefe im geistigen Wettbewerb mit anderen Zentren dieser stürmischen Entwicklung vorantrieben – Zentren z.B. in Stuttgart (geführt von Prof. Argyris), in Berkeley (mit den Professoren Clough, Wilson und Taylor) und am MIT (vor allem mit Professor Pian).

Bevor ich auf einige Stationen Ihres Lebens und Ihres bisherigen Werkes eingehe, möchte ich das dominante Forschungsthema, die Finite-Element-Methode, etwas

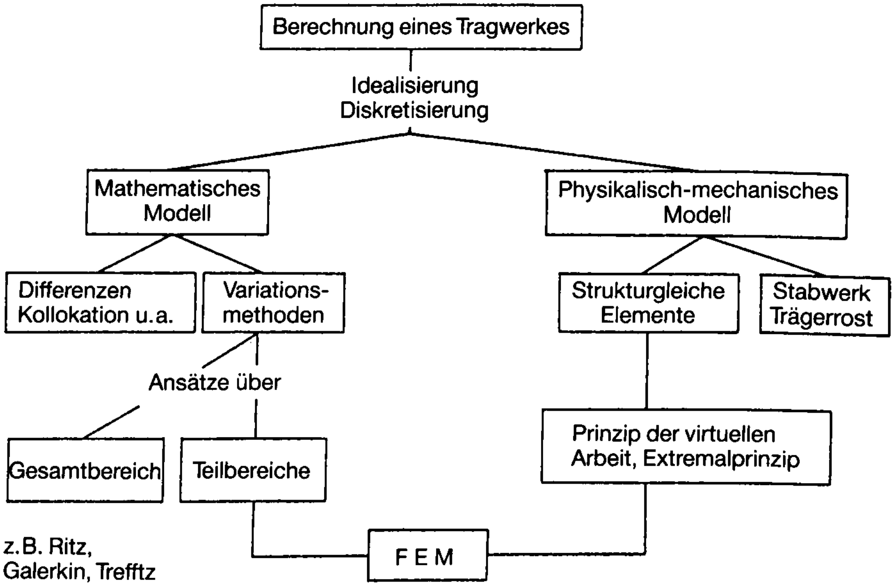


Bild 1:
Mathematischer und mechanischer Zugang zur Finite-Element-Methode

erläutern, auch die Bezüge und ihre Bedeutung für die heutigen technischen Wissenschaften. Dies ist freilich ohne geometrische und formelmäßige Darstellungen schwierig, aber auch für diese „Kunst“ gibt es berühmte Vorbilder, etwa das Buch „Méchanique analytique“ von Lagrange, das keinerlei Figuren enthält.*

Aus der Sicht der numerischen Mathematik ist die Finite-Element-Methode ein numerisches Verfahren, und zwar ein sogenanntes direktes Variationsverfahren nach Rayleigh-Ritz, zur näherungsweisen Lösung von Randwert- und Anfangs-Randwert-Aufgaben partieller Differentialgleichungen, z.B. der Kirchhoffschen Plattengleichung für die Durchbiegung einer dünnen, biegesteifen Platte unter Querbelastung, wie wir sie von Hoch- und Brückenbauten kennen, siehe Bild 1. Der entscheidende Unterschied zum klassischen Ritzschen Verfahren, von Walter Ritz im Jahre 1908 in seiner Züricher Habilitationsschrift angegeben, ist die Verwendung von in der Regel gleichen Parameteransätzen in Teilbereichen mit Dreiecks- oder Vierecksstruktur – eben den finiten Elementen – und Verbesserung der Ergebnisse durch Verdichtung der Elemente, was man auch als h-Adaptivität (h = Elementmaß) bezeichnet. Ritz selbst hat in einer Fußnote bereits auf diese naheliegende Strategie mit Teilbereichen hinge-

*) In die schriftliche Fassung der Laudatio sind zum besseren Verständnis einige Bilder aufgenommen.

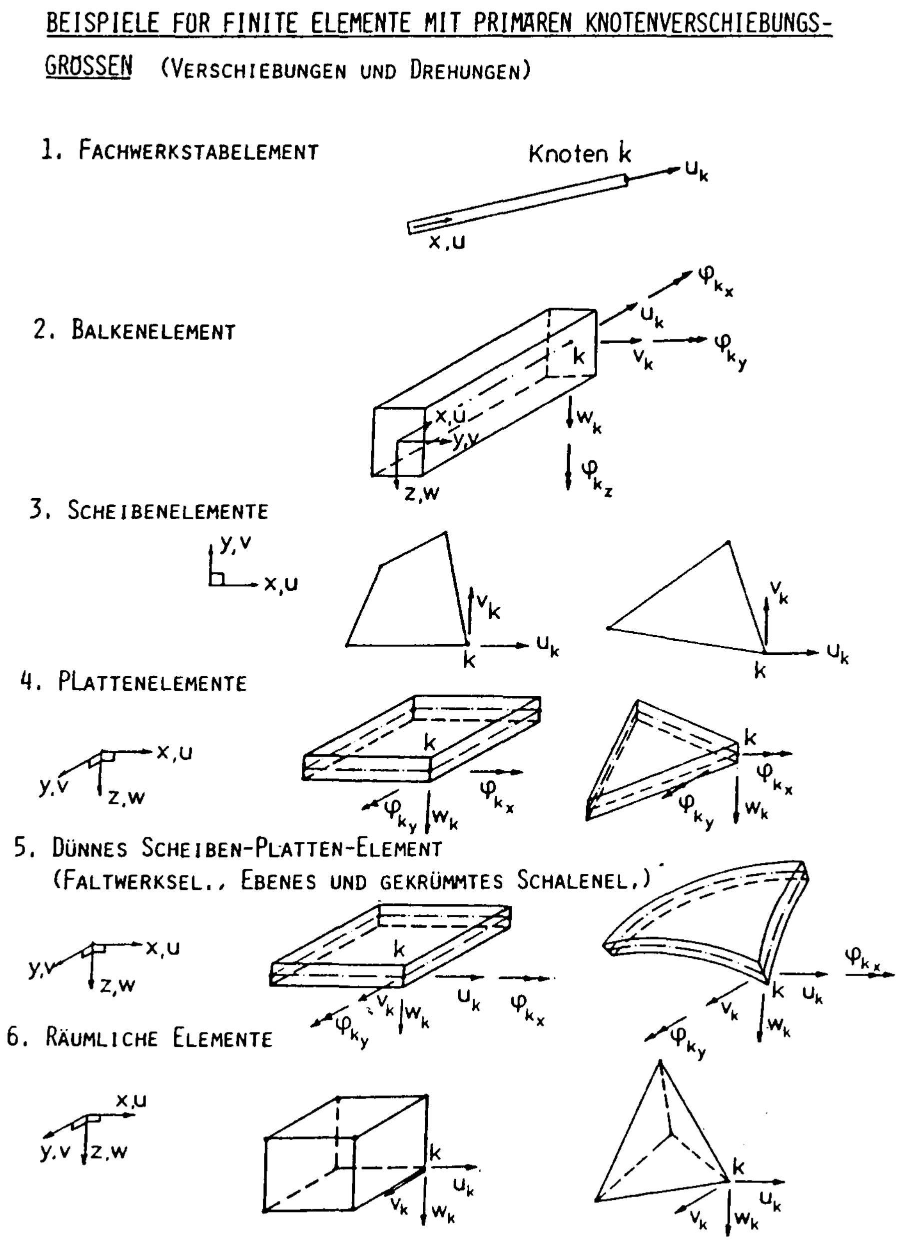
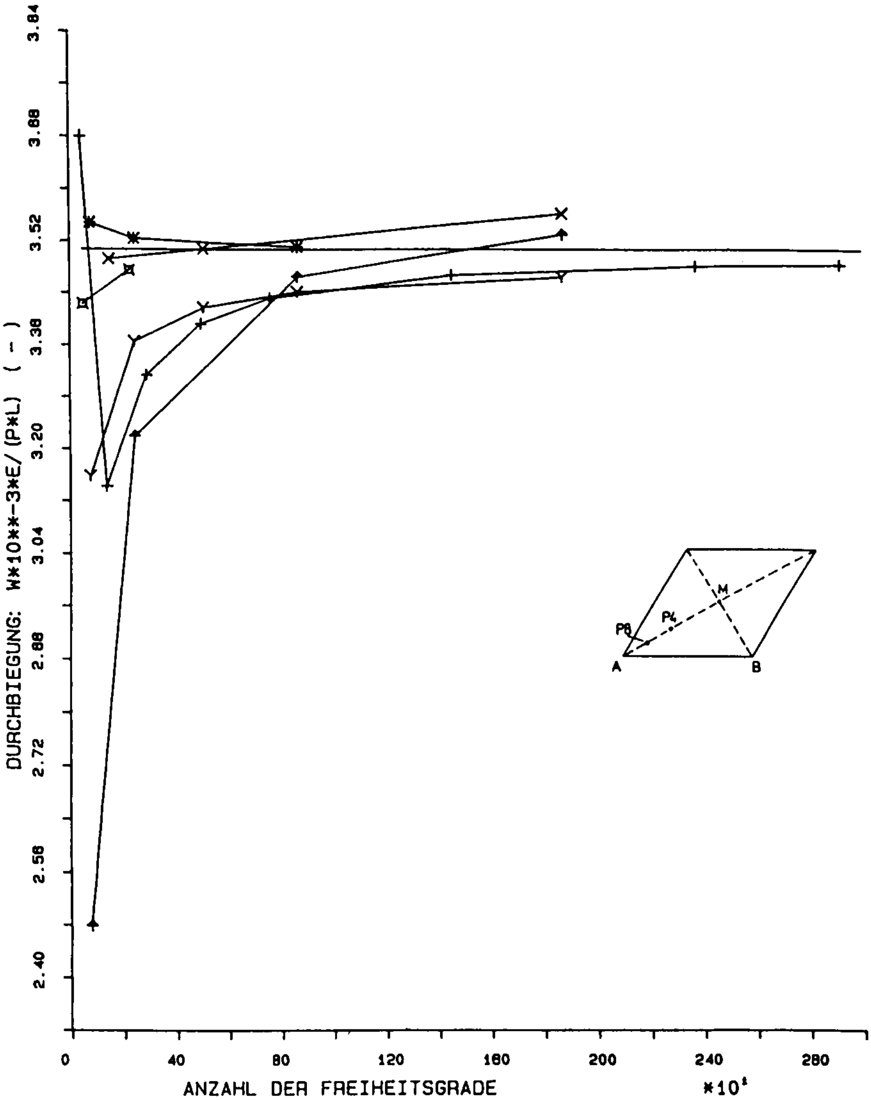


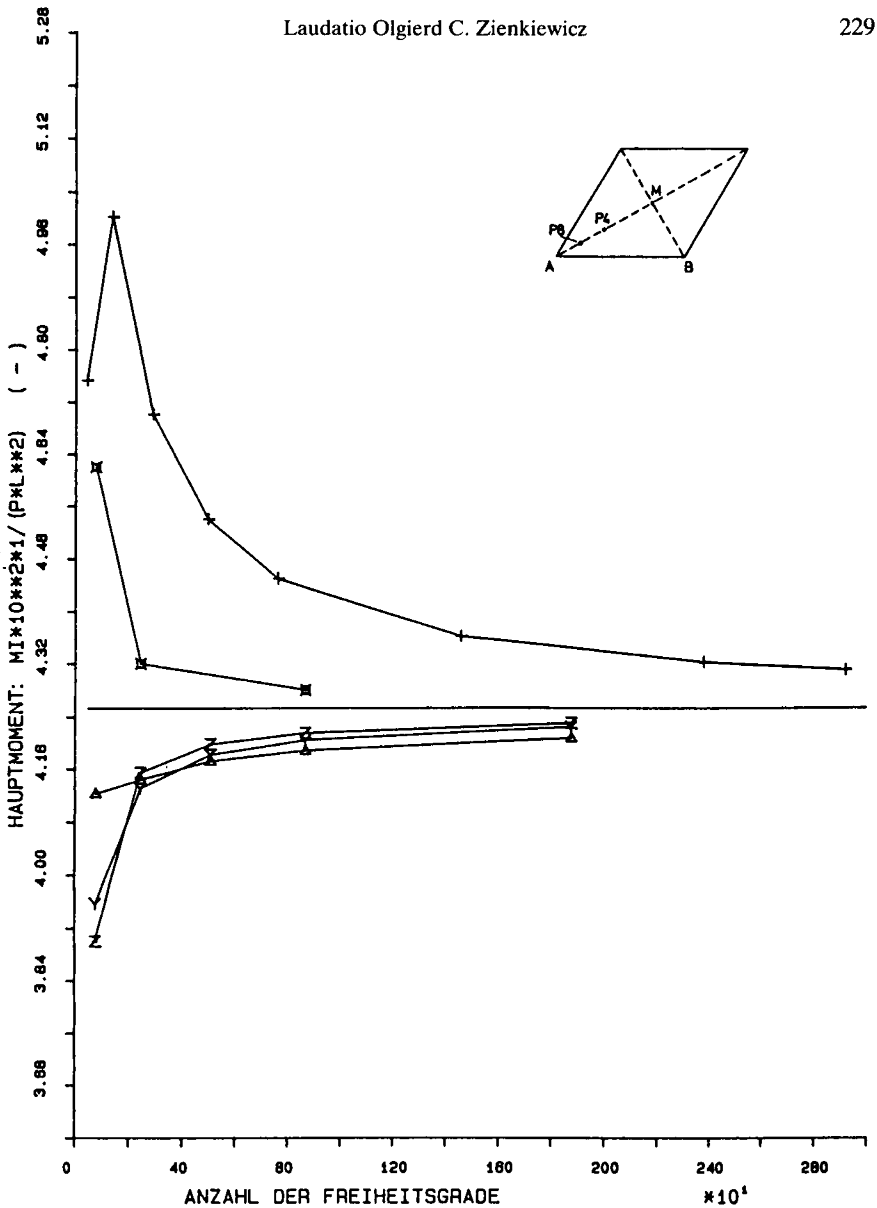
Bild 2:
Ein-, zwei- und dreidimensionale finite Elemente mit Verschiebungsansätzen



KONVERGENZVERHALTEN DER DURCHBIEGUNG W IM MITTELPUNKT M
EINER 60 GRAD NAVIERPLATTE UNTER GLEICHLAST

———	VERGLEICHSLOESUNG
Y Y Y	DS4-ELEMENT (STEIN)
+ + +	DREIECKELEMENT MIT 6 KNOTEN (HARBORD)
X X X	S16 ISOPARAMETRISCHES SCHALENELEMENT (RAMM)
↑ ↑ ↑	S9 ISOPARAMETRISCHES SCHALENELEMENT (RAMM)
⌑ ⌑ ⌑	GEMISCHTES DREIECKELEMENT (RANNACHER)
✳ ✳ ✳	GEMISCHT HYBRIDES VIERECKELEMENT (WUNDERLICH)

Bild 3a:
Konvergenzverhalten verschiedener FE-Lösungen am Beispiel einer 60°-Rhombus-Platte



KONVERGENZVERHALTEN DES HAUPTMOMENTES MI IM MITTELPUNKT M
EINER 60 GRAD NAVIERPLATTE UNTER GLEICHLAST

———	VERGLEICHSLOESUNG
△ △ △	DKT-ELEMENT MIT 3 KNOTEN (STEIN)
Z Z Z	DKQ-ELEMENT (STEIN)
Y Y Y	DS4-ELEMENT (STEIN)
+ + +	DREIECKELEMENT MIT 6 KNOTEN (HARBORD)
⌘ ⌘ ⌘	GEMISCHT HYBRIDES VIERECKELEMENT (WUNDERLICH)

Bild 3b:

Konvergenzverhalten verschiedener FE-Lösungen am Beispiel einer 60°-Rhombus-Platte wiesen, denn gerade bei komplizierten Rändern und Gebieten, dem Regelfall der Ingenieurpraxis, ist das Auffinden höherer Ansatzfunktionen für ein Gesamtgebiet zur Verbesserung der Näherungslösung unter Beachtung der Vollständigkeit und Konformität und damit der Konvergenz praktisch kaum möglich.

Man kann die h-Adaptivität mit der p-Adaptivität koppeln, wobei p die Ordnung der Interpolationspolynome, der sogenannten shape-functions, bezeichnet.

Dieser mathematischen Betrachtungsweise steht die strukturmechanische oder ingenieurmäßige Deutung und Sicht gegenüber. Danach ist die Finite-Element-Methode ein Näherungsverfahren mit *strukturgleichen* Teilgebieten. Es wird also eine Platte nicht – wie bis in die 60er Jahre üblich – durch einen Trägerrost approximiert, sondern durch gedachte strukturgleiche Plattenelemente, die in gewählten Knoten zunächst geometrisch wieder zusammengebaut werden, um die erforderliche geometrische Kontinuität zu realisieren. Der vorhin genannte direkte Variationsprozeß eines Funktionals, nämlich der gesamten potentiellen Energie (genauer des Potentialverlustes) des hier als konservativ vorausgesetzten mechanischen Systems führt auf die sogenannte schwache Formulierung der Gleichgewichtsbedingungen, mechanisch darstellbar als Prinzip der virtuellen Arbeit. In den erwähnten Elementknoten ergeben sich Gleichgewichtsbedingungen gedachter Knotenkräfte entsprechend den vorher definierten Knotenverschiebungen.

Die große Anwendungsbreite der FEM ergibt sich durch die gleichartige algorithmische und programmtechnische Behandlung unterschiedlicher Strukturelemente, wie sie in Bild 2 dargestellt sind.

Es ist sofort ersichtlich, daß man bei wirklichkeitsnaher Diskretisierung eines schwierigen Ingenieurproblems sehr viele unbekannte Knotenverschiebungen und damit große algebraische Gleichungssysteme in der Spanne n = 100 ⁒ 100.000 erhält, die einen Elektronenrechner erfordern, allerdings heute auf den Personalcomputern der AT-Klasse, insbesondere aber mit den vernetzten 32-bit Super-Micros strukturabhängig bis zu beachtlichen Größenordnungen unmittelbar am Arbeitsplatz gelöst werden können.

In Bild 3 ist das Konvergenzverhalten verschiedener finiter Elemente bei Netzverdichtung für eine Rhombus-Platte dargestellt. Man erkennt, daß das Biegemoment schlechter konvergiert als die Durchbiegung, ein grundlegendes Problem der Methode.

Im Falle geometrisch oder stofflich nichtlinearer Probleme, z.B. Stabilitätsuntersuchungen von Schalen, siehe Bild 4, oder die Erfassung plastischer Deformationen bis zum Versagen einer Struktur, siehe Bild 5, ergeben sich nichtlineare algebraische Gleichungssysteme, die durch konsistente Linearisierungsprozesse iterativ zu lösen sind.

Letztlich sei auf die große Zahl technisch wichtiger Kopplungen hingewiesen, z.B. im Bereich zeitabhängiger, nichtlinearer Modellbildungen, etwa für das Kriechen von Metallen oder von Steinsalz (siehe Bild 6) bei hohen Temperaturen in Verbindung mit mechanischen Beanspruchungen und dessen Einfluß auf die Systemstabilität, transienter Prozesse, weiterhin Fluid-Festkörper-Interaktionen, elasto-elektromagnetische Probleme usw. Insbesondere die direkte Zeitintegration thermodynamisch voll gekoppelter Prozesse – z.B. mit teilweise elliptischen und teilweise parabolischen Operato-

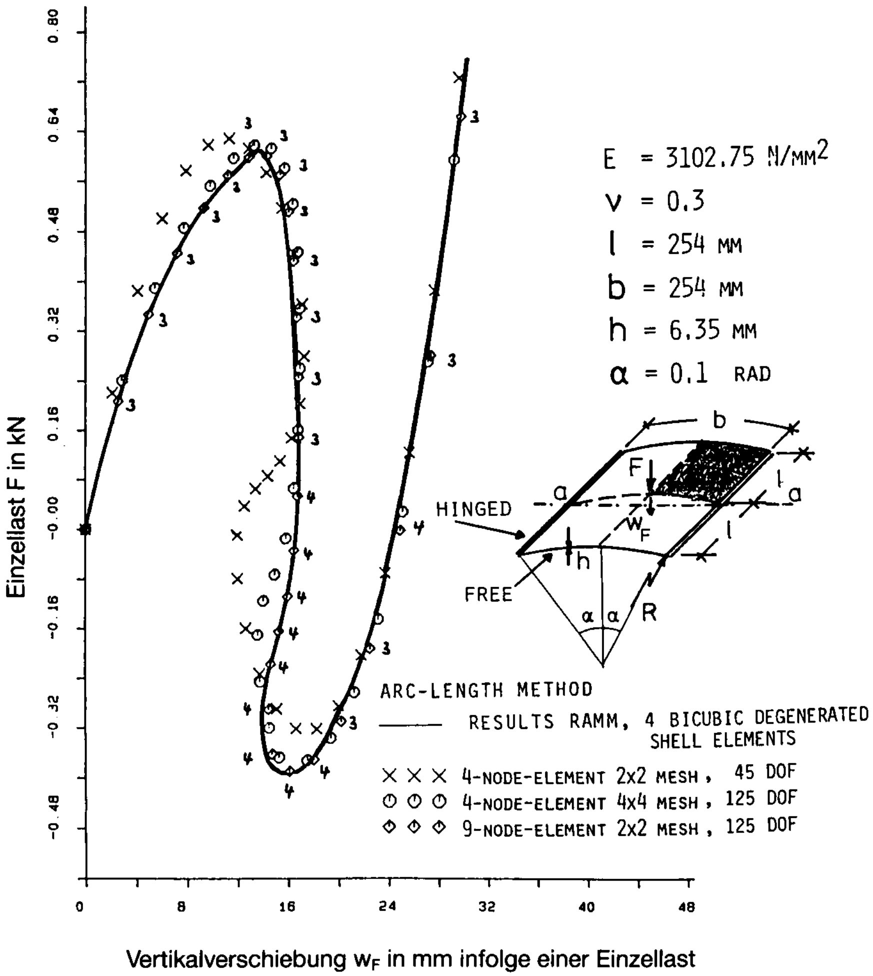
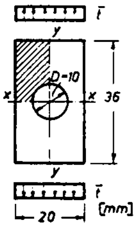


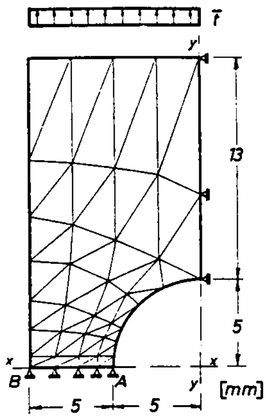
Bild 4:
Durchschlagverhalten eines flachen Zylindersegmentes unter Verwendung eines Algorithmus zur Kurvenverfolgung

– Vergleich verschiedener FE-Diskretisierungen –

Scheibe mit Kreisloch
unter Zugbeanspruchung



Elementaufteilung



Scheibendicke h = 1,0 mm

Werkstoff Aluminium
Legierung 57 S

Lin. Verfestigung
C = 7000 kN/cm²
Y_0 = 24,3 kN/cm²
ν = 0,2

Berechnete u. gemessene Lastfälle

Lastfall	I	II	III	IV	V	VI
$\bar{t}/Y_0$	0,23	0,269	0,329	0,400	0,463	0,53

FEM-Diskretisierung
41 Eckknoten; unbek. Knotenversch. 262
57 Dreieckelemente; Bandbreite 42
quadratischer Verschiebungsansatz

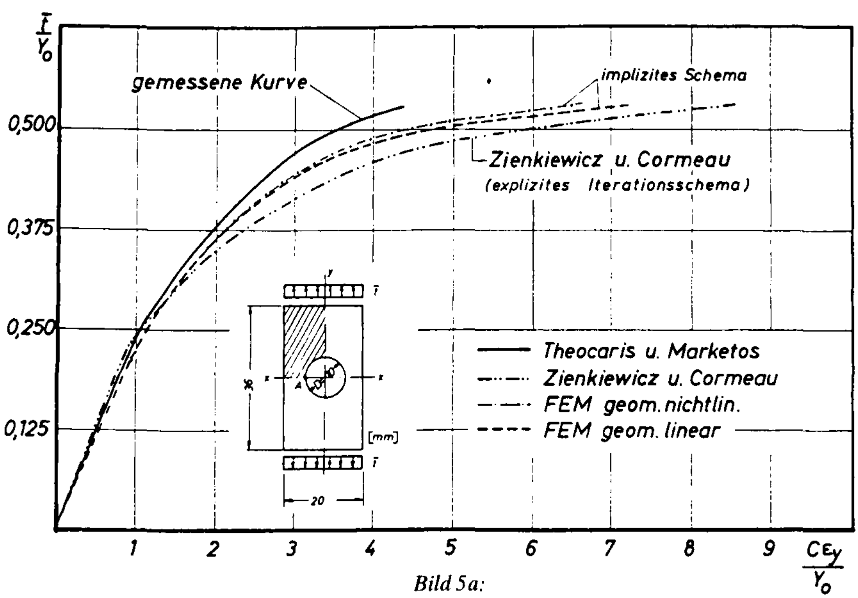


Bild 5a:
Plastizieren einer Scheibe mit Loch unter Zugbeanspruchung für verschiedene Laststufen
– System und Lastverschiebungskurven verschiedener Autoren –

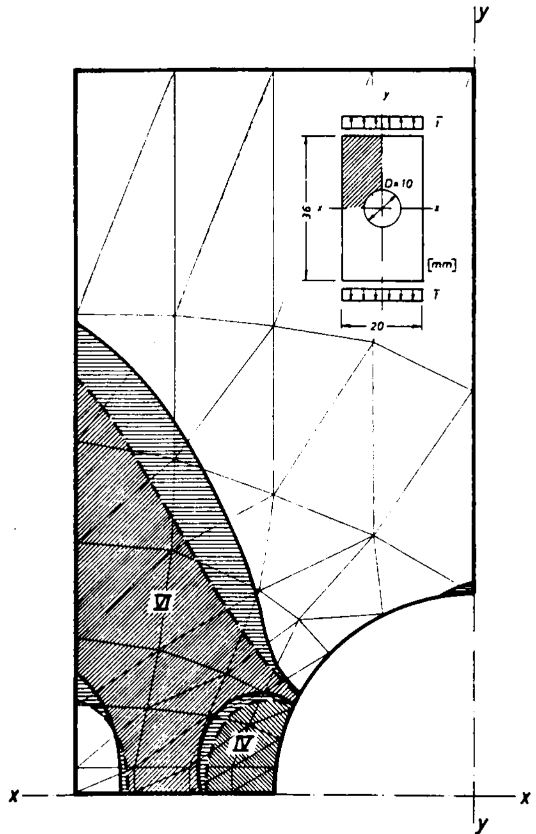
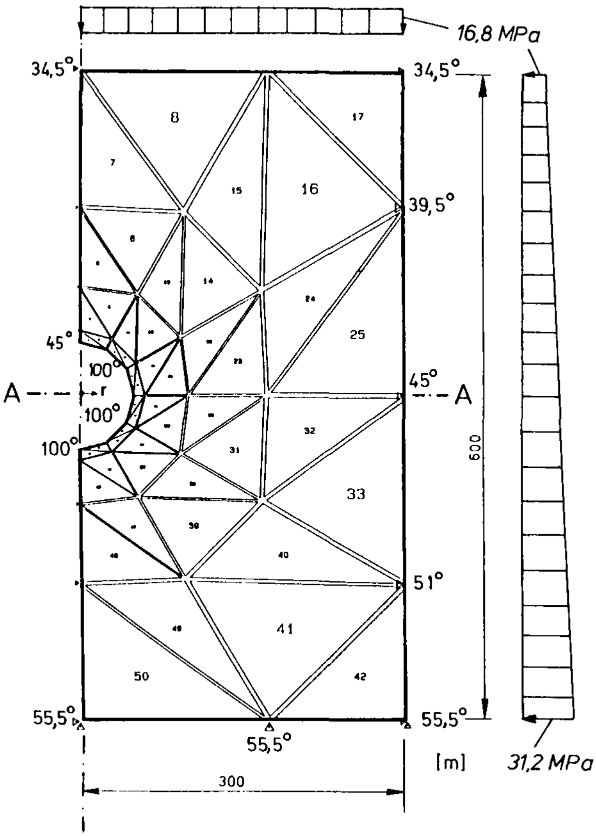


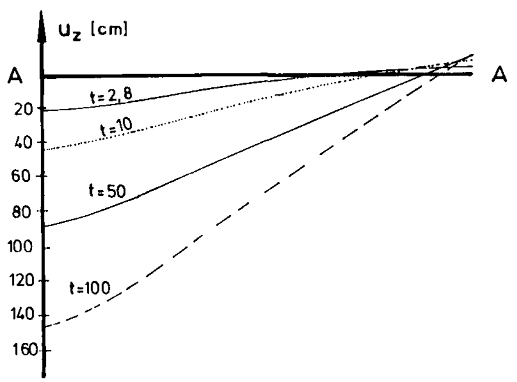
Bild 5b:
Plastizieren einer Scheibe mit Loch unter Zugbeanspruchung für verschiedene Laststufen
– Darstellung von Fließzonen –

ren – ist derzeit Gegenstand der Forschung und wirft vor allem Probleme für die Stabilität der Integrationsverfahren auf.

Auf diesem Gebiet gekoppelter Problemstellungen hat Professor Zienkiewicz entscheidende Impulse gegeben und effiziente, stabile Algorithmen entwickelt, z.B. für transiente thermo-mechanische Deformationsprozesse, oder die Fluid-Festkörperinteraktion von Dämmen einschließlich der sukzessiven Erfassung von Schäden, etwa bei Durchströmungen. Überhaupt ist zu sagen, daß das komplexe Tragverhalten von Staudämmen den Ingenieur und Finite-Element-Spezialisten Olec Zienkiewicz sein ganzes Berufsleben fesselte.

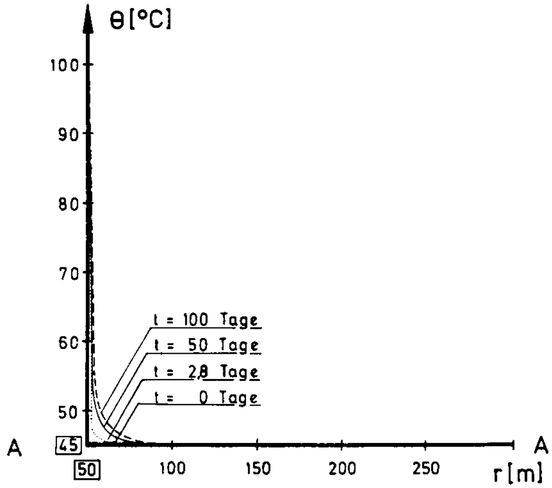


Geometrie, Diskretisierung, Temperatur-
randbedingungen und Belastung

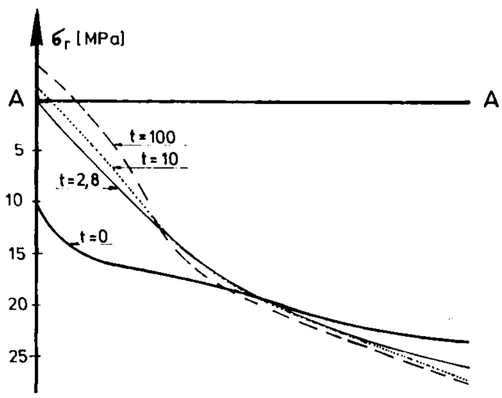


Verschiebung u_z im Schnitt A–A

Bild 6, siehe auch nächste Seite



Temperatur θ im Schnitt A–A



Spannungsverteilung σ_r im Schnitt A–A

Bild 6:
Thermo-mechanische Kriechberechnung eines Zylinders aus Steinsalz mit kugelförmiger Kaverne

– Diskretisierung und FE-Lösungen für die Temperatur, die Radialspannung und die Axialverschiebung im Schnitt A – A –

Wenn man den Weg von der Laplaceschen Differentialgleichung $\Delta\varnothing = 0$ – und dem Hochgefühl von Laplace über diese grundlegende Modellbildung für viele wichtige physikalische Phänomene – bis zu den verwickelten nichtlinearen Operatoren heutiger Modellbildungen im Rahmen einer phänomenologischen Betrachtung, etwa für thermomechanische Deformationsprozesse von Metallen, von Salz oder von Meereis verfolgt, muß man sich des konsekutiven Vorgehens beim Verschärfen eines Modells vom groben zum komplizierten und manchmal schließlich zum einfachen mathematischen Abbild der physikalischen Realität bewußt sein. Wenn wir gut sind, denken wir zwar richtig, aber nicht notwendigerweise vollständig, und die hieraus möglichen Irrtümer und Einschränkungen kann nur das geeignete Experiment im richtigen Maßstab und letztlich die Erfahrung im Umgang mit der Konstruktion erbringen.

Was leisten nun die heutigen Berechnungsverfahren für unsere Konstruktionen im Vergleich zu den von-Hand-Methoden?

Wir können bei der FE-Diskretisierung Geometrie, Randbedingungen und Belastung wirklichkeitsnäher modellieren, Sensitivitätsstudien im Hinblick auf Optimierungsfragen verschiedener Art durchführen, Versagenszustände, Bruch- und Crashvorgänge mit Einschränkungen so simulieren, daß man auf große Versuchsserien verzichten kann und außerdem wesentlich bessere Einsichten in die reproduzierbaren Abläufe gewinnt, etwa mit der Computer-Animation eines Bruchvorganges.

All dies ist mit von-Hand-Rechnungen nicht möglich, auch nicht mit Programmen für einfache, geschlossene analytische Lösungen.

Aus dem Maschinenbau und dem Bauwesen sei die Kopplung von CAD mit der FEM genannt, womit es gelingt, Strukturen aus vielen hundert Teilen vollständig im Rechner zu konstruieren, zu berechnen und zu archivieren. Schließlich sei auf die Umformtechnik hingewiesen, in der die FEM ein sehr wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung der technischen Prozesse ist.

Die große Verbreitung und Leistungsfähigkeit der Finite-Element-Programmsysteme im Vergleich etwa mit den Differenzverfahren beruht auf der modularen und einfachen logischen Struktur der Algorithmen und damit der leichten „horizontalen" Erweiterbarkeit auf einer theoretischen Ebene wie z.B. unterschiedliche Strukturelemente im Rahmen der linearen Elastizitätstheorie trotz ggfs. sehr verschiedenen zugehörigen Differentialgleichungen. Darüber hinaus besteht die recht einfache „vertikale" Erweiterbarkeit für verschiedene nichtlineare Theorien und deren Kopplungen in einer inkrementellen Betrachtung mit Hilfe der tangentialen Steifigkeit.

Auf all den genannten Gebieten hat Professor Zienkiewicz vom Beginn der 60er Jahre bis heute substantielle und richtungsweisende Beiträge geleistet und in etwa 350 Veröffentlichungen aus seinem Civil Engineering Department in Swansea die neue Richtung „computational mechanics" und weitergehend „computational physics" maßgebend mitgeprägt.

Es stellt sich die kritische Frage nach dem Nutzen, der Vertrauenswürdigkeit und den Beschränkungen komplexer aber im Vergleich mit der Wirklichkeit immer noch eingeschränkter und idealisierter mechanischer und numerischer Modellbildungen für schwierige technische Probleme. Olec Zienkiewicz hat stets aus seinem Selbstverständnis und seiner Verantwortlichkeit als Ingenieur heraus das Sinnvolle vom Machbaren unterschieden und die neuen Hilfsmittel richtig eingeordnet.

In einer Art Gegenbewegung werden heutzutage auf Tagungen und im Schrifttum sozusagen in Kassandra-Rufen sicher in Einzelfällen belegbare und trotzdem in der Verallgemeinerung gewagte Thesen verbreitet, z.B. „daß nur das berechnet wird, was man rechnen kann, nicht was man müßte" und im Gegenzug die Vorstellung vom „klassischen ganzheitlichen Ingenieur beschworen, der wertend und kritisch denkt, statt gläubig zu rechnen".

Der heutige Tag und dieses Forum empfehlen eine Auseinandersetzung mit dieser Frage der geänderten Denk- und Arbeitsweise in der Technik und angewandten Physik in der beginnenden Ära der Informationswissenschaften, d.h. der Verwendung vernetzter Rechnersysteme und vor allem in Zukunft die Einbeziehung wissensbasierter integrierter Softwaresysteme.

Professor Zienkiewicz wird in seinem Vortrag „The Challenge of Computational Mechanics" sicher auch auf diese Fragen eingehen.

Die angesprochene Auseinandersetzung ist ein Generationsproblem und hat viele historische Parallelen. Große Veränderungen lassen sich in der Regel nicht durch Einsicht, sondern nur durch die nächste Generation durchführen – und auch ertragen.

Goethe drückt es wie folgt aus:

Das Durchsetzen neuer Erkenntnisse und Denkweisen wird weniger durch mangelndes Verstehen behindert, sondern ist ein Generationsproblem.

Als konkreten – und eigentlich selbstverständlichen – Hinweis auf das Verhalten im Spannungsfeld der Bearbeitung einer Ingenieuraufgabe darf ich bemerken, daß das „sowohl als auch", das wahrhaft dialektische Denken im Bewußtsein aller Modellmängel mit Verzicht auf jede – auch abwehrende – Ignoranz Grundlage moderner Teamarbeit sein sollte. Dort kann jeder mit seiner Kompetenz wie in der Ringparabel des Nathan das eigene Wissen sowie Erfahrung und Intuition aus der jeweiligen Sicht der materiellen Wahrheit einbringen und dem kritischen Urteil, also dem Wettbewerb von Geist, Zeit und Geld anheimstellen.

Bei allen Schwierigkeiten, Unzulänglichkeiten und Mißverständnissen im Umgang mit der „computational mechanics" darf im übrigen nicht übersehen werden, daß eine Reihe wichtiger Entwicklungen der heutigen Technologie ohne die Finite-Element-Methode kaum vorstellbar sind, z.B. im Bereich der Luft- und Raumfahrt, des Automobilbaus, des Brückenbaus und übergeordnet der Bauweise mit faserverstärkten Kunststoffen und anderen neuen Werkstoffen und deren Versagensverhalten im System.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich nun den Lebensweg des Mannes etwas skizzieren, der willens- und leistungsstark eine breite und tiefe Spur in die Entwicklung von Ingenieurmethoden gelegt hat.

Olgierd C. Zienkiewicz wurde am 18. Mai 1921 in Caterham, England, geboren. Der Vater war Jurist aus Polen, die Mutter Engländerin. Die Familie zog aus beruflichen Gründen im Jahre 1922 nach Polen zurück. Olec bereitete sich nach dem Abitur auf die strenge Aufnahmeprüfung an der Polytechnischen Hochschule in Warschau vor, die am 7. September 1939 stattfinden sollte. Am 2. September marschierten deutsche Truppen in Polen ein, und nun begann zunächst getrennt und später vereint mit der Familie eine Odyssee über Italien nach Frankreich und endete, wiederum kurz vor dem Eintreffen deutscher Truppen an der Atlantikküste im Juni 1940, mit der Flucht auf einem polnischen Dampfer nach England am 22. Juni 1940.

Schon im Herbst 1940 begann er, wie anfangs erwähnt, das Bauingenieurstudium am Imperial College in London. Nach Doktordiplom in 1945 und 4 Jahren Berufspraxis nahm er 1949 eine Dozentenstelle an der Universität Edinburgh an. Dort beschäftigte sich Professor Zienkiewicz vor allem mit dynamischen Problemen des Maschinenbaus, z.B. den Beanspruchungen in Wasserschlössern.

In diese Zeit fällt das Kennenlernen Ihrer Frau Gemahlin, damals einer kanadischen postgraduate Studentin der Chemie.

Von verschiedenen Angeboten wählten Sie im Jahre 1957 eine Tätigkeit im Bauingenieurbereich der Northwestern University in den USA aus und wurden schon ein Jahr später full professor, übrigens zusammen mit S.L. Lee, mit dem Sie einen freundschaftlichen Wettstreit austrugen, wer mehr Arbeiten pro Jahr veröffentlichte. – Es war offensichtlich ein Kopf-an-Kopf-Rennen.

Im Jahre 1961, d.h. in Ihrem 40sten Lebensjahr, erfolgte dann der Weg zurück nach Großbritannien mit der ehrenvollen Berufung als Professor und Head of Department of Civil Engineering an der Universität von Swansea in Wales. Dort haben Sie die Lawine von Forschung und Entwicklung ins Rollen gebracht, von der eingangs die Rede war – und um in unserer Sprache zu bleiben: Die Bewegungsenergie dieser Lawine ist immer noch im Wachsen, wenn man als Kriterium die Zahl der jährlichen Veröffentlichungen über der Zeitachse aufträgt.

Ich möchte nun einige wesentliche Beiträge von Herrn Zienkiewicz und seinem Team auf dem Gebiet der Numerischen Mechanik kurz zusammenfassen:

1965 Ein nicht C^1-konformes (d.h. die geometrischen Übergangsbedingungen bezüglich Durchbiegungen und Drehungen nicht voll erfüllendes) dreieckförmiges Plattenelement unter Verwendung homogener Koordinaten und die Einführung des patch tests nach einem Vorschlag von Bruce Irons. Hierbei wird ein Ensemble (patch) von nicht konformen Elementen nach den Bedingungen für Konvergenz untersucht. Dieser patch test spielt in erweiterter Form auch heute noch eine sehr wichtige Rolle.

1968 Die Einführung isoparametrischer, d.h. gleichparametrischer Ansätze für die Ausgangsgeometrie und die verformte Konfiguration finiter Elemente, wieder zusammen mit Bruce Irons.

1968 Das Konzept sogenannnter degenerierter Schalenelemente durch sofortige Diskretisierung, d.h. Wahl von Ansätzen über die Schalendicke und Verwendung eines transversal schubelastischen Kontinuums. Damit wird die Schalentheorie nur bezüglich der Kinematik benutzt. Hierbei waren S. Ahmad und B. Irons beteiligt.

1971 Die wichtige Einführung der reduzierten numerischen Integration und damit einer verringerten Steifigkeit zur Ausschaltung des Lockens, d.h. des völligen Versteifens schubelastischer dünnwandiger Strukturen zusammen mit R.L. Taylor aus Berkeley und J.M. Too.

1969 Algorithmen und Programme für elastoplastische Deformationsprozesse, die Entwicklung der inkrementell-iterativen „initial stress aproach", der Anfangsspannungsmethode, zusammen mit S. Valliapan und I.P. King.

1972 Algorithmen für das elasto-visko-plastische Deformationsverhalten zur Beschreibung des Kriechens von Werkstoffen, die später für Umformprozesse erweitert wurden, zusammen mit I. Cormeau, der auch Stabilitätskriterien für den Zeitschritt angab.

1973 Finite-Element-Methoden für die Navier-Stokes Gleichungen zur Beschreibung der Strömung viskoser inkompressibler Fluide mit Einführung des sogenannten upwinding in den Konvektionstermen zur Vermeidung numerischer Instabilitäten.

1974 Penalty-Methoden für Nebenbedingungen, z.B. für die Inkompressibilität oder für Kontaktprobleme.

Seit 1981 Hierarchische Finite-Element-Konzepte und die selbstadaptive Netzverfeinerung mit Hilfe einfacher, mechanisch anschaulicher Fehlerindikatoren.

Als übergreifende Forschungsthemen, sicher auch stimuliert durch die ersten Berufsjahre, sind Stoffgleichungen und Algorithmen in der Bodenmechanik, insbesondere für Erddämme, und in der Felsmechanik zu nennen.

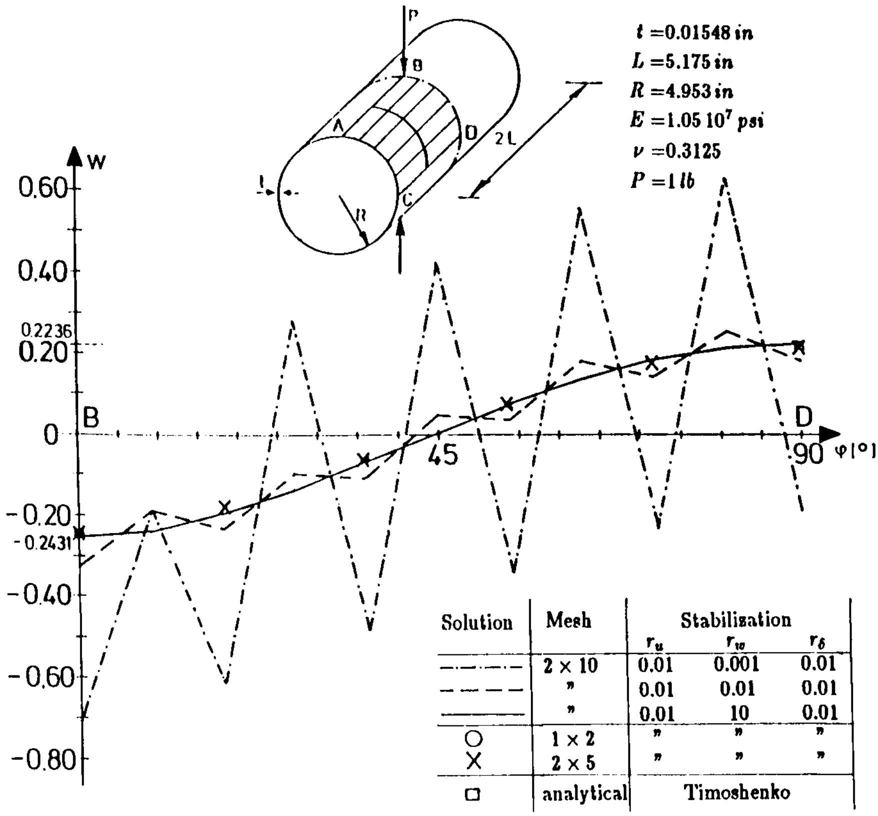
In den letzten Jahren beschäftigten sich Professor Zienkiewicz und verschiedene Mitautoren, insbesondere Professor Mroz, mit Zweiphasen-Modellen zur Beschreibung der Bodenverflüssigung, der Konsolidation und vor allem des Versagens von Dammbauten.

Diese Auswahl mag genügen; sie ist unvollständig, läßt aber den Reichtum an Ideen erkennen, die in das neue Forschungsgebiet eingeflossen sind.

Es sei ein Ausblick auf die weitere Entwicklung gestattet. Bei der Suche nach optimalen Elementen, wenn möglich mit Superkonvergenz-Eigenschaften, spielen gemischte Variationsprinzipien, z.B. nach Hellinger-Reißner und Hu-Washizu, eine tragende Rolle. Sie sind die Grundlage für gemischte Methoden, z.B. mit Parameteransätzen für Verschiebungen und Spannungen. Hierfür ist jedoch eine tiefgehende mathematische Begründung sehr nützlich, ja oft unerläßlich. Die Finite-Element-Lösungen liegen in Sobolev-Räumen, und die Fehleranalysis hierzu ist schwierig. So ist z.B. das Verständnis und die Konsequenz der LBB-Bedingung (der Ladyshenskaja-Brezzi-Babuska-Bedingung), einer sehr ernst zu nehmenden globalen Stabilitätsbedingung für Sattelpunktsprobleme, derzeit nur mit erheblichen mathematischen Hilfsmitteln in die Konstruktion stabiler Ansätze umsetzbar.

Diese Bedingung kann aber auch durch mechanische Überlegungen an „patches" sehr anschaulich und trotzdem tiefgehend geklärt werden, wie Olec Zienkiewicz gerade in der letzten Zeit zeigte.

Am Beispiel eines offenen Rohres mit zwei Einzellasten, siehe Bild 7, kann man erkennen, daß bei Verwendung isoparametrischer Vierknotenelemente mit reduzierter Integration (zur Vermeidung des sogenannten Locking) verzerrungsfreie und damit energiefreie Verschiebungszustände, sogenannte „spurious modes", zusätzlich zu den zugelassenen Starrkörperverschiebungen entstehen, die zur drastischen Abnahme der Regularität der tangentialen Steifigkeitsmatrix und damit zu Oszillationen der Ergebnisse führen. Weiterhin ist in Bild 7 zu erkennen, daß man eine Stabilisierung vornehmen kann und so zuverlässige Ergebnisse erhält.



Solution	Mesh	Stabilisation		
		r_u	r_w	r_δ
—·—·—	2 × 10	0.01	0.001	0.01
– – – –	"	0.01	0.01	0.01
———	"	0.01	10	0.01
O	1 × 2	"	"	"
X	2 × 5	"	"	"
□	analytical	Timoshenko		

Bild 7:
Radialverschiebung in der Mitte eines offenen Rohres infolge zweier Einzellasten
– Oszillationen der FE-Lösung infolge „spurious modes" und deren Stabilisierung –

Es wird deshalb eine verstärkte Zusammenarbeit mit aufgeschlossenen Mathematikern benötigt, um durch verschiedene Betrachtungsweisen neue konstruktive Ideen hervorzubringen, die Fehleranalysis auszubauen und so selbstadaptive, stabile und robuste Elemente und Löser zu entwickeln, die zur Eigendiagnose fähig sind.

In Bild 8 ist die automtische a posteriori Netzverdichtung einer Scheibe mit Riß dargestellt. Es werden Viereck- und Dreieckelemente verwandt. Als Fehlerindikatoren werden die Integrale der Quadrate der Spannungssprünge an den Elementränderm verwandt. Zusätzlich werden Forderungen für die Verhältnisse der Elementabmessungen u.a.m. berücksichtigt.

Weiterhin haben neue Rechnerarchitekturen, z.B. Vektor- und Parallelprozessoren, Auswirkungen auf die Struktur der Algorithmen. Es gilt die These: „The computer shapes the theory". Spezielle Algorithmen, z.B. die Multigridmethode, können jedoch auch besondere Hardware-Entwicklungen bewirken.

Wiederum ist Professor Zienkiewicz als Schrittmacher einer engen Zusammenarbeit mit bedeutenden Mathamatikern zu nennen, z.B. den Professoren Babuska und Glowinsky. Neue ergänzende, integrierte Studiengänge wie „Technomathematik" oder „Systemingenieur" sollten den Boden für die zukünftig geforderte Teamarbeit bereiten.

Lassen Sie mich nach diesem Exkurs in die Zukunft noch einige weitere Bereiche des Schaffens von Olec Zienkiewicz herausstellen:

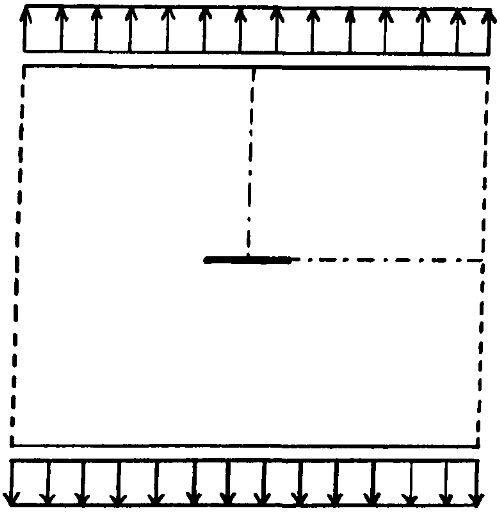
Eine besondere Rolle unter den insgesamt etwa 350 Veröffentlichungen nimmt das erste Lehrbuch über die Finite-Element-Methode ein, das 1967 zusammen mit Y.K. Cheung unter dem Titel „The Finite Element Method in Continuum and Structural Mechanics" mit 272 Seiten herausgebracht wurde und ins Japanische und Russische übersetzt wurde. Die 2. Auflage, 1972, hatte bereits fast 500 Seiten und wurde zusätzlich ins Französische, Deutsche und Polnische übersetzt. Die 3. Auflage, 1977, hat 787 Seiten, behandelt die meisten wichtigen linearen und nichtlinearen Aspekte der FE-Methode und wurde ins Spanische, Französische und Japanische übersetzt.

Neben diesem Standardwerk – „The Finite-Element-Method" – hat Professor Zienkiewicz als Koautor und Mitherausgeber eine größere Zahl von Büchern veröffentlicht.

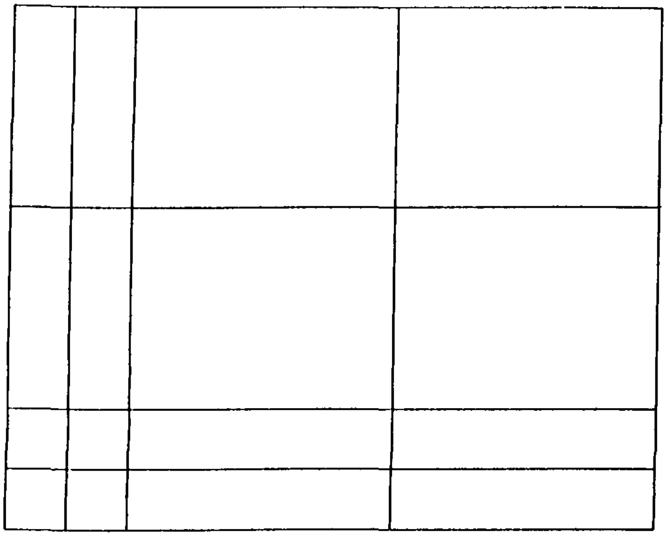
Von besonderem Rang ist auch die Gründung und langjährige Herausgabe der Zeitschrift: International Journal for Numerical Methods in Engineering seit 1969, derzeit im 24. Jahrgang. Diese Zeitschrift ist eine der drei oder vier führenden Publikationsorgane der computational mechanics und schließt selbstverständlich auch Finite Differenzenverfahren, Randelementmethoden und andere numerische Verfahren ein.

Schließlich sei von einer in die Zukunft weisenden langfristig vorbereiteten Aktivität die Rede, nämlich die maßgebliche Mitwirkung bei der Gründung der IACM, der International Association for Computational Mechanics, im Jahre 1986 in Austin/Texas anläßlich des 1. World Congress for Computational Mechanics. Olec Zienkiewicz wurde zum ersten Präsidenten der IACM gewählt, eine gute und verdiente Wahl, zu der ich auch von hier nochmals herzlich gratuliere.

Es ist selbstverständlich, daß eine solche Leistung als Forscher, Lehrer und Promotor eine Fülle hochkarätiger Ehrungen bewirkte.

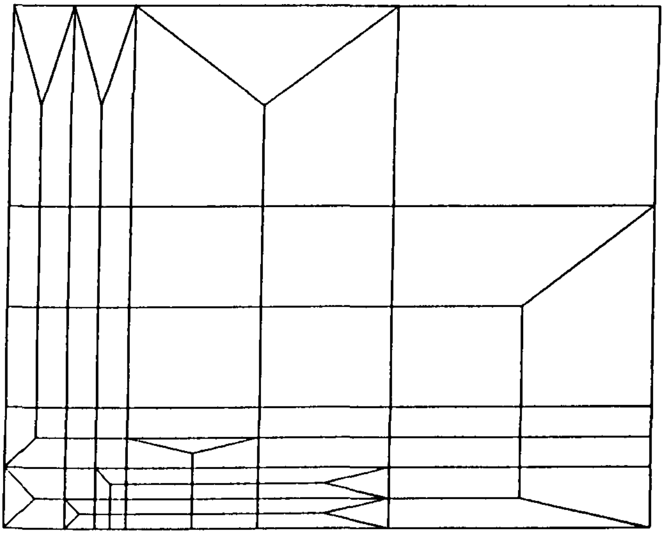


System

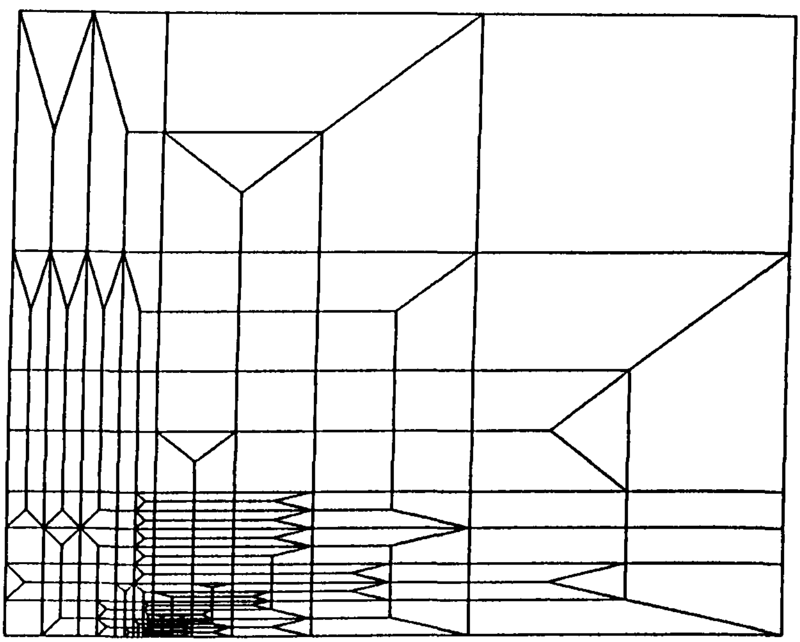


16 Elemente

Bild 8:
Automatische Netzverdichtungen einer Scheibe mit Riß aufgrund von a posteriori Fehlerabschätzungen der FE-Lösungen



73 Elemente



337 Elemente

Fortsetzung Bild 8

Professor Zienkiewicz erhielt die Ehrendoktorwürden der Universitäten von Lissabon und Irland, der Northwestern Universität (USA), der Universität Trondheim und der Chalmers Politechnischen Hochschule in Göteborg.

Eine sehr hohe Auszeichnung war die Wahl zum Mitglied der Royal Society in London und ebenso die auswärtige Mitgliedschaft der United States National Academy of Engineering. Weiterhin sind Mitgliedschaften wissenschaftlicher Gesellschaften in Großbritannien und außerhalb zu nennen.

Eine große Freude hat ihm sicher die Wahl zum auswärtigen Mitglied der Polnischen Akademie der Wissenschaften bereitet.

Als besondere verliehene Medaillen sind zu nennen; übrigens alle im Jahre 1980:

die James Alfred Ewing Medal
der Institution of Civil Engineers,

die Nathan Newmark Medal
der American Society of Civil Engineers,

die Worcester Warner Reid Medal
der American Society of Mechanical Engineers.

Kommen wir zurück zur heutigen Ehrung:

Carl Friedrich Gauß, der Namensgeber für die Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, lieferte viele grundlegende Beiträge für die numerische Mathematik, z.B. zur Lösung linearer Gleichungssysteme und zur numerischen Integration von Funktionen mit optimal gewählten, nicht äquidistanten Stützstellen. Diese Quellen sind von grundlegender Bedeutung für Finite-Element-Verfahren. Weiterhin spielt der Gauß'sche Integralsatz eine zentrale Rolle bei allen Variationsformulierungen, der Grundlage für die Finite-Element-Verfahren. Es ist deshalb zu vermuten, daß sich ein Wissenschaftler, der in der FEM besondere Leistungen erbracht hat, mit der Assoziation Gauß besonders geehrt fühlt.

Meine Damen und Herren, gestatten Sie mir zum Abschluß einige übergreifende Bemerkungen. Das umrissene bisherige wissenschaftliche Werk von Olec Zienkiewicz läßt sich nur verstehen, wenn man seine mitreißende, liebenswürdige Spontaneität, seine Hilfsbereitschaft und Diskussionsfreudigkeit und vor allem den durch intuitives, ingenieurmäßiges Denken geleiteten Ideenreichtum kennt. So ist es nicht verwunderlich, daß neben den Mitarbeitern und postgraduate Studenten ständig mehrere ausländische Wissenschaftler als Stipendiaten in Swansea tätig sind und ihrerseits Ideen einbringen. Sie haben Ihre Swansea-Schule vorbildlich aufgebaut und bestellt und können mit Stolz auf eine Kette hervorragender Studenten zurückblicken, die heute führende Positionen als Professoren innehaben. So kann man vielleicht mit Prospero in Shakespeare's „Der Sturm", „The Tempest", sinnieren: „Now does my project gather to a head: My charms crack not; my spirits obey; and time goes upright with his carriage", oder in der Schlegel-Tieck'schen Übersetzung: „Jetzt naht sich der Vollendung mein Entwurf, mein Zauber reißt nicht, meine Geister folgen, die Zeit geht aufrecht unter ihrer Last."

Verehrter Herr Zienkiewicz, Sie haben viel wissenschaftliches Neuland in Pionierarbeit kultiviert, Siedler herbeigerufen und sie zum Bleiben auch unter oft großen Anstrengungen für beide Seiten überzeugt. Dabei ist die Ausgewogenheit von geistiger und körperlicher Betätigung sehr wichtig für die innere und äußere Harmonie. Auch dies haben Sie früh erkannt und widmen Ihre bescheidene Freizeit dem Segeln, dem Tauchen an Meeresküsten, sowie langen Waldspaziergängen verbunden mit der Beobachtung von Vögeln. Wir wünschen Ihnen, daß Ihre enge Naturverbundenheit und die Geborgenheit im Schoße Ihrer Familie die Energie für schöpferische Arbeit in den kommenden Jahren spendet und daß Ihr weltweiter Freundes- und Verehrerkreis Sie noch lange als unus ex nobis behalten darf.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.